5M

УДК 004.942

Б.В. Мисник
Черкаський державний технологічний університет, Україна
Setne@list.ru

Особливості моделювання процесів функціонування виробничих підприємств на основі концепції «штучного життя»

У статті розглядається проблема моделювання процесів функціонування складних виробничих систем. Виконано відображення основних елементів концепції «штучного життя» на процеси життєвого циклу промислових підприємств. Виконано формалізацію основних складових алгоритму моделювання і визначено елементи функціонального навантаження об’єктів моделювання.

Вступ

Плануючи створення нового підприємства, здійснюючи проектування або управління процесом його функціонування, відчуваючи необхідність модернізації чи переходу на випуск нової продукції, особа, що приймає рішення, обов’язково зіштовхується з проблемою «погляду за горизонт». Такий «погляд» означає розв’язання задачі прогнозування процесів життєвого циклу підприємства на тому чи іншому етапі. У більшості випадків таке прогнозування пов’язане з використанням ідентифікованих залежностей результуючих характеристик від вхідних факторів.

На виробниче підприємство (ВП) здійснюють вплив численні різнорозмірні фактори різної природи, до яких відносять впливи зовнішнього середовища, внутрішні параметри та їх динаміку. Врахувати всю множину таких факторів неможливо через «прокляття розмірності», та в цьому і немає необхідності, оскільки значення багатьох із них визначаються з помилками, і значна кількість врахованих факторів призводить до більших помилок. Такі особливості вказують на актуальність застосування нових підходів до моделювання процесів функціонування ВП.

Для вивчення складних систем традиційно застосовується комп’ютерне моделювання [1], складовими якого є аналітичне, імітаційне та еволюційне моделювання. При аналітичному моделюванні вивчаються математичні (абстрактні) моделі реальних об’єктів у вигляді алгебраїчних, диференціальних та інших рівнянь, а також передбачають виконання однозначних обчислювальних процедур, що приводить до одержання точного розв’язку. З використанням імітаційного моделювання будуються та досліджуються математичні моделі у вигляді алгоритмів, що імітують функціонування досліджуваної системи шляхом послідовного виконання великої кількості елементарних операцій. При еволюційному моделюванні створюються системи, які є біологічно більш реалістичними, ніж інші системи [2], [3]. До нього відносять і концепцію «штучного життя». Результати попереднього аналізу свідчать про те, що серед усіх еволюційних парадигм найкращим чином відповідає задачі моделювання складних штучних систем саме концепція «штучного життя (Artificial Life)» [4].

Аналіз концепцій «штучного життя»

«Штучне життя» (ШЖ) є міждисциплінарною областю, дослідження в якій спрямовані на створення життєподібних структур у різних галузях (обчислювальній, біохімічній, механічній тощо). Квінтесенція процесу моделювання – реалізація емерджентних форм життя, таких як саморепродукція, ріст, розвиток, еволюція, навчання і адаптивна поведінка. Незважаючи на тривалі дослідження, перша конференція по ШЖ відбулась тільки у 1987 році і була організована ученим К. Лангтоном [5], на якій він і запропоновував основні напрямки дослідження ШЖ. Концепція ШЖ набула розвитку в роботах Джона Конвея [6], Ларрі Ягера [7], Д. Еклі і М. Літтмана [8], а також російських вчених М.С. Бурцева, Р.В. Гусарєва, В.Г. Редька [9]. Існує припущення, яке підтверджується багатьма дослідженнями, хоч і є евристикою, про те, що головними функціями мозку людини є пам'ять і прогнозування [10]. Всі моделі ШЖ тією чи іншою мірою базуються на такому припущенні. Виключення склала лише модель «Життя» Джона Конвея, яка представлена як гра на клітковому полі з певними правилами. Зауважимо, що конструкції, які були одержані з її використанням, склали інформаційний матеріал для досліджень у багатьох науках.

Таким чином, ШЖ – це не що інше, як спроба вивчити саме життя, живі системи, їх еволюцію за допомогою програм, розроблених людиною [3]. Основною проблемою і завданням ШЖ є створення обчислювальних систем і моделей, що діють на базі біологічних та еволюційних принципів.

Далі проведемо більш детальний огляд особливостей кожної із концепцій ШЖ, відзначимо їх недоліки та переваги і на основі такого аналізу запропонуємо новий підхід до моделювання еволюції виробничих підприємств із поведінкою, що базується на врахуванні зовнішніх факторів і мотивації.

Модель «Полісвіт» Ларрі Ягера. Модель можна уявити як обмежений простір, в якому існують штучні індивіди. Вони мають властивості руху, споживання енергії та репродукції. При зустрічі вони вступають у боротьбу за існування, причому переможений індивід перетворюється на джерело енергії для переможця. Автор моделі надав індивідам цікаву особливість – всі вони мають колір і різнокольоровий зір. Наприклад, індивід, який вступає у боротьбу, стає червоним.

Вказані властивості дозволяють популяції індивідів еволюціонувати. За допомогою моделі було встановлено, що можливим є еволюційне формування трьох стратегій. Першу стратегію реалізують індивіди, які рухаються прямолінійно з максимальною швидкістю і споживають усі види енергії. Обравши другу стратегію, індивід залишається на місці, а репродукується або вступає в боротьбу з іншими індивідами лише за умови їх наближення. Третя стратегія зустрічалась тільки в деяких експериментах, в яких індивіди циркулювали за або проти годинникової стрілки уздовж бар'єрів, що обмежують життєвий простір. Це приводило до певних переваг, оскільки тут індивіди частіше, ніж зазвичай, знаходили інших індивідів, з якими можна було взаємодіяти.

З певним допуском можна стверджувати, що Ларрі Ягер за допомогою «Полісвіту» реалізував не що інше, як природний відбір індивідів і саме це він мав на увазі під терміном «еволюція» в «Полісвіті». У результаті моделювання зроблено висновок про те, що кольоровий зір міг сформуватись у процесі еволюції, а також про те, що індивіди можуть мати різні стратегії поведінки. Особливістю моделі є відсутність пам'яті в індивідів, оскільки зміна кольору відбувається виключно за фактом їх зустрічі.

Модель «Interaction between Learning and Evolution» Д. Еклі і М. Літтмана. В моделі передбачено, що індивіди існують в обмеженому двовимірному просторі кліт-

кової структури. Крім них, у навколишньому світі є дерева, хижаки, трава і каміння. Відповідно, індивіди – це головна «одиниця» світу, а всі інші взаємодіють з ними та впливають на них.

Поведінка суб'єктів світу є такою. Хижаки атакують індивідів, причому з більшою енергією, ніж індивіди хижаків. Засобом для захисту від хижаків служать дерева, якщо на них немає іншого індивіда. Постійне перебування на дереві є небезпечним, оскільки дерева з часом гинуть, вбиваючи індивіда, що знаходиться на ньому.

Поведінка індивідів визначається їх «мозком», функції якого виконує нейронна мережа. На її вхід подається видима картина світу і внутрішній стан індивідів: кількість енергії та її якість (здоров'я). Індивіди сприймають світ навколо себе на відстані до 4 клітинок у 4 напрямках. Поведінка індивідів визначається виходами їх нейронної мережі. Оскільки за припущенням світ розвивається у дискретному часі, то на кожному його такті нейронна мережа визначає дії індивіда, які полягають у русі в одному з чотирьох напрямків. Після вибору дії поведінка індивіда в наступний такт часу однозначно визначається тим, що є у цільовій клітинці (клітинці за напрямком руху). Можливі варіанти є такими: індивід просто переміщається в цільову клітинку (якщо клітинка порожня), з'їдає в клітинці траву (якщо вона там є), переміщається на дерево (якщо в цільовій клітинці є дерево і на ньому немає індивіда), може вдаритися об камінь, бути удареним іншим індивідом або хижаком тощо.

Нейронна мережа індивіда містить два блоки:

– блок поведінки, в якому визначаються дії індивіда в кожний такт часу;

– блок оцінки дії, що формує ціль поведінки індивіда.

Такі блоки дозволяють поєднати в моделі навчання та еволюцію. Блок оцінки дії «виробляє» навчальний сигнал для блока поведінки, який, в свою чергу, визначає дії індивіда. Сам сигнал може бути позитивним, якщо блок оцінки «вважає», що команда блоку поведінки спрямована на оптимізацію функціонування індивіда, або негативним, якщо навпаки. Таким чином, після ряду вдалих та невдалих дій індивіда його нейронна мережа навчається і приймає за тих же обставин «вірні» рішення.

У процесі репродукції двох індивідів інформація, що міститься в їх нейромережах, передається нащадкам – так здійснюється еволюція в моделі.

На відміну від «Полісвіту», модель Д. Еклі та М. Літтмана базується на двох стратегіях – навчанні та еволюції. Головними її особливостями є наявність пам'яті в індивідів та її наслідування нащадками. Для адекватного реагування на зовнішні подразнювачі і досягнення цілі індивіди мають керуючий пристрій – нейронну мережу, здатну до запам'ятовування та навчання. Автори моделі взаємодії показали, що наявність композиції навчання та еволюції значно продовжує життя індивіда, на відміну від їх окремої реалізації.

Модель «Кузнечик». Найбільш адекватно виконати моделювання життєдіяльності природних систем із урахуванням, крім звичайних еволюційних процесів, ще й фактора мотивації, вдалося М.С. Бурцеву, Р.В. Гусарєву та В.Г. Редьку в моделі «Кузнечик».

Для живих організмів властива цілеспрямованість поведінки, тобто прагнення досягти певної мети. Для тварин – це найчастіше виживання і розмноження. У роботі [9] автори намагаються за допомогою комп'ютерної моделі відповісти на питання: «Як цілеспрямована поведінка могла виникнути в процесі еволюції життя на планеті Земля?». Вперше серед усіх концепцій ШЖ використано поняття мотивації, оскільки мотивація живої істоти, що потрапляє в ту або іншу ситуацію, стимулює вибір правильного рішення. Використовуючи мотивацію, в моделі досліджується можливий механізм виникнення цілеспрямованої поведінки в процесі еволюції.

Є популяція індивідів, які мають потребу в енергії та розмноженні. Всі дії розгортаються в обмеженому середовищі, розбитому на клітинки. У клітинках з певною ймовірністю росте трава. Енергія індивіда витрачається при виконанні наступних дій, причому на виконання різних дій витрачається різна кількість енергії:

− бути в стані спокою (відпочивати) – найменша кількість енергії;

− їсти (поповнювати свій енергетичний ресурс) – в два рази більше енергії;

− рухатися, тобто переміщатися на одну клітинку вправо або вліво – ще в два рази більше витрат енергії, ніж на харчування;

− стрибати через декілька клітинок у випадкову сторону – в 5 разів більше витрат, ніж при русі;

− здійснювати репродукцію – в 5 разів більше витрат енергії, ніж при русі.

Кожна потреба індивіда характеризується кількісно мотивацією. Наприклад, якщо індивід спостерігає поряд іншого індивіда і його енергетичний ресурс достатній для розмноження, він помічає себе кольором як готового до розмноження, і, якщо другий індивід робить те ж саме, – відбувається репродукція. В результаті з'являється новий індивід, який успадковує частину енергетичного ресурсу від батьків. Кожен індивід управляється за допомогою своєї нейронної мережі, яка має спеціальні входи від мотивацій.

Нейронна мережа індивіда містить один шар нейронів (рис. 1). На входи нейронної мережі надходять сигнали від сенсорних входів. Входи і нейрони пов'язані за принципом «всі з усіма», тобто кожен нейрон отримує сигнали від усіх входів. Нейрони формують вихідні сигнали, які визначають дії індивіда. Розглянемо вхідні сигнали нейронної мережі.

Відомо, що індивід отримує із зовнішнього середовища наступну інформацію:

− наявність трави у всіх клітинках поля зору;

− чи є індивід в клітинці зліва;

− чи є індивід в клітинці справа;

− інтенсивність синього кольору (що характеризує мотивацію до репродукції) сусідніх індивідів у клітинках зліва і справа.

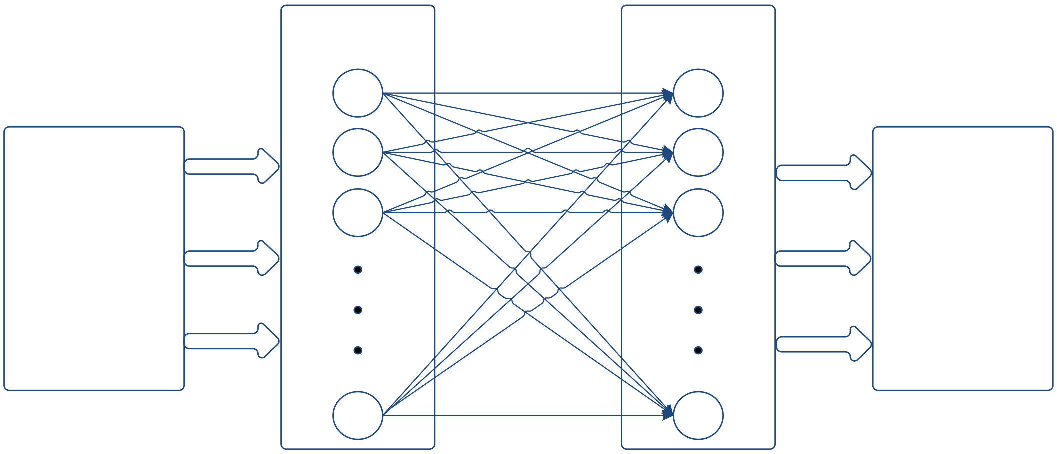


Рисунок 1 – Структура нейронної мережі

Крім того, з внутрішнього середовища індивід отримує інформацію про його мотивації. Таким чином, маємо 3+1+1+2+2 = 9 вхідних сигналів нейронної мережі.

Шар нейронів визначає сукупність дій індивіда. Індивід в певний такт часу виконує ту дію, яка пов'язана із нейроном з максимальним вихідним сигналом. Індивід може відпочивати, рухатись у сусідню клітинку, стрибати через декілька клітинок, їсти,

розмножуватись. Беручи до уваги, що деякі дії мають два варіанти, нейронна мережа індивіда містить 7 нейронів. Входи і нейрони мають повні міжшарові синаптичні зв'язки, таким чином, є 7 × 9 = 63 вагових коефіцієнти.

За рахунок нейронної мережі відбувається як управління індивідом, так і його еволюція. Геном (набір вагових коефіцієнтів нейронної мережі) нащадка формується у результаті репродукції на основі генома батьків за допомогою рекомбінації і мутації. При зменшенні ресурсу до нуля – індивід вмирає. Автори моделі дослідили два варіанти: індивіди з мотивацією і індивіди без мотивацій із заданими різними значеннями ймовірності випадкової появи трави в кожен такт часу. Результати моделювання засвідчили, що популяція індивідів, які мають мотивації, краще адаптується до навколишнього середовища, причому при середній кількості їжі (ймовірність трави в клітинці P = 1/200) популяція індивідів з мотивацією «знаходить» достатньо ефективну стратегію виживання, а популяція без мотивацій вимирає повністю.

Результати вказують на те, що при відсутності мотивації індивіди перебувають у стані спокою, а індивіди з мотивацією рухаються і знаходять джерела харчування.

Модель «Кузнечик» поєднує в собі всі попередні властивості моделей (взаємодію, навчання та еволюцію) і мотивацію, що дозволяє найбільш точно та адекватно імітувати діяльність складних еволюційних систем.

Самі індивіди характеризуються більшою кількістю можливих дій та більш розумною поведінкою, наявністю пам'яті та здатністю до прогнозування. Для виробничих підприємств це дозволить експериментально визначити ефективність їх діяльності в умовах конкуренції та заздалегідь заданих параметрах навколишнього середовища.

Формалізація основних складових алгоритму моделювання

Моделюванню еволюції штучних систем [3], [11] передує ініціалізація життєвого простору. Розглядаючи спрощену схему, введемо такі умовні позначення.

Нехай є деяка прямокутна область Ω, що є життєвим простором, і вона має кліткову прямокутну структуру. Кількість клітинок дорівнює k. В області Ω існує чотири типи елементів:

– *виробничі підприємства* $PV=\{pv_1,pv_2,...pv_{n_1}\}$ – множина елементів, які за аналогією з індивідами ШЖ еволюціонують, їх властивості: джерелом енергії E^M є елементи з множини M (матеріальні ресурси); джерелом енергії $E^{R\leftarrow}$ є елементи з множини R (кадрові ресурси); джерелом енергії $E^{S\leftarrow}$ є елементи з множини S (споживачі); вони самі є джерелом енергії $E^{R\rightarrow}$ для елементів з множини R; мають здатність до розмноження (утворення філій, розширення виробництва);

– *робоча сила* $R=\{r_1,r_2,...,r_{n_2}\}$ – множина елементів, їх властивості: є джерелом енергії $E_{PV}^{R\rightarrow}$ для елементів з множини PV, одержують енергію $E_{PV}^{R\leftarrow}$ від елементів множини PV та опосередковано $E_S^{R\leftarrow}$ від елементів множини S;

– *ресурс матеріалів* $M=\{m_1,m_2,...,m_{n_3}\}$ – множина елементів, їх властивості: є джерелом енергії $E_{PV}^{M\rightarrow}$ для елементів з множини PV;

– *споживачі* $S=\{s_1,s_2,...,s_{n_4}\}$ – множина елементів, їх властивості: є джерелом енергії $E_{PV}^{S\rightarrow}$ для елементів з множини PV.

Кожний елемент має відповідні атрибути, значення яких змінюються з часом.

Без обмеження загальності розглянемо підприємства, які не є монополістами у своєму регіоні. Процеси їх життєвого циклу подібні, у деякому сенсі, еволюційним процесам у живій природі [3]. Так, природний відбір здійснюється, виходячи із ефективності роботи підприємства, а боротьба за існування відповідає законам функціонування ринку, зокрема закону рівності попиту та пропозиції. Спадковій змінності, внаслідок якої в природі виникають нові види, в штучних системах відповідає переорієнтація на випуск нової продукції. Таким чином, гіпотеза про застосування і адаптацію законів функціонування природи до моделювання процесів функціонування підприємств базується на вищевказаному концептуальному і елементному базисі.

Вивчення моделей ШЖ дозволяє робити висновки про різні етапи і часові проміжки еволюції природних організмів, а саме висувати і перевіряти гіпотези про час існування людства і час гибелі динозаврів і вимирання мамонтів. Очевидно, що їх адекватність повинна базуватись на правдоподібних припущеннях про параметри моделювання, зовнішнього середовища та поведінки індивідів.

Розглянемо певні аспекти адаптації ідей ШЖ до моделювання функціонування ПП. Зокрема, підприємство можна представляти у деякому сенсі як індивід. Необхідно визначити, яким сутностям буде відповідати поняття квантування часу, використання та набуття енергії, репродукції, навчання, еволюції, часових характеристик життєвого циклу, які є атрибутами елементів живої природи.

Підприємство не є замкненою системою, на нього здійснюють вплив системи більш високого рівня ієрархії (рис. 2). У першу чергу до них відноситься світова економіка, яка і є системою вищого рівня ієрархії для підприємства. Її вплив виражається у динаміці валютних курсів, цін на енергоносії і, у деяких випадках, попиті на товари, що виробляє підприємство, та інших факторах. Нижчий рівень представляє система, яка є безпосереднім навколишнім середовищем для ВП. До неї відносяться динаміка законодавчої бази, елементи кредитної та фінансової політики, матеріальна та кадрова база, підприємства-постачальники і споживачі, підприємства-конкуренти. Важливою внутрішньою складовою ВП є внутрішні параметри, структура, кадровий потенціал, фінансовий стан, інші параметри.

Квант часу функціонування підприємства відповідає проміжку часу, на якому не відбувається дискретна зміна стану ВП, наприклад, не надходить сировина, не відвантажується вироблений товар до споживачів, не змінюються сутності систем вищих рівнів тощо. Набуття енергії означає, що надходить сировина, матеріали, енергія та інформація на ВП, відбувається прийом нового співробітника на роботу, одержання платежу за поставлений товар. Енергія може бути використаною на платежі за поставлену сировину, матеріали, енергію та інформацію, на амортизацію основних засобів, на виробництво продукції.

Як співвіднести елементи природної еволюції, такі, як репродукція та мутація, роботі ВП? Еволюція є природним процесом руху ВП по етапах життєвого циклу і може включати розширення виробництва, його згортання, звільнення працівників, зміну постачальників тощо. Елемент репродукції можна розуміти як створення філіалів, дочірніх компаній. Такий процес повинен відбуватись при виконанні комплексу умов як систем більш високого рівня ієрархії, так і при визначених значеннях внутрішніх параметрів.

Найбільш важливим з позиції можливої реалізації є процес навчання. Підприємство уявляємо як цілісний об'єкт, що має пам'ять та функцію прогнозування. У зв'язку з цим виникають задачі, розв'язання яких базується на припущенні про наявність ви-

хідної інформації в пам'яті або її відсутність. Сама модель пам'яті організована як нейронна мережа, кількість входів якої дорівнює кількості матеріальних, енергетичних та інформаційних факторів, що здійснюють вплив на ВП, кількість входів співпадає з числом продуктів різного типу, що є результатом роботи підприємства.

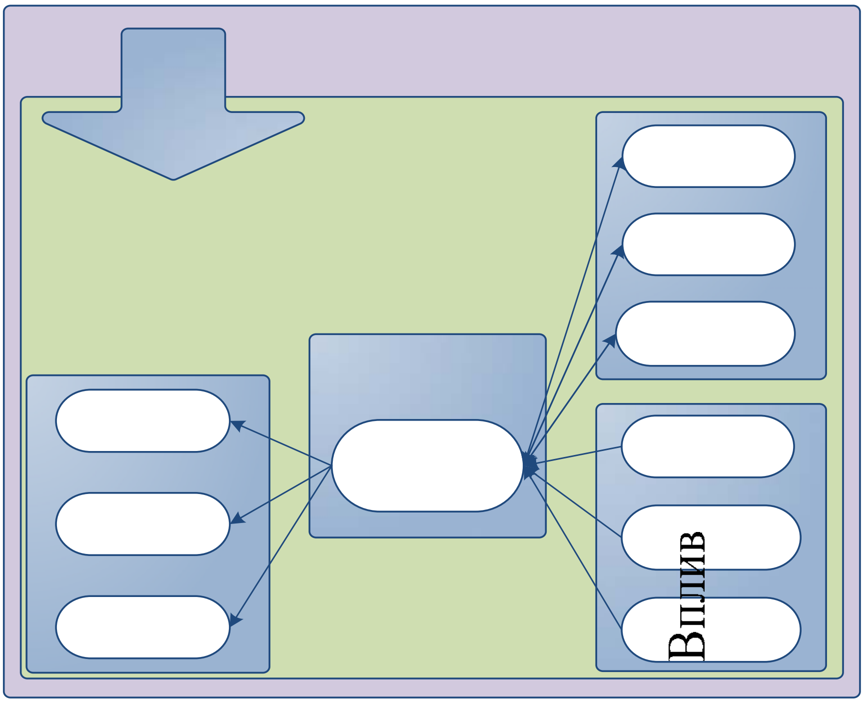


Рисунок 2 – Взаємодія елементів штучного середовища

Висновки

У результаті проведеного огляду моделей ШЖ визначено переваги та недоліки кожної концепції. Одержані висновки дозволили виконати ініціалізацію елементної бази моделювання процесів функціонування виробничих підприємств. Розроблена модель у першому наближенні дозволить прогнозувати діяльність сукупності однотипних підприємств, що є конкурентами, та визначати параметри їх оптимальної поведінки на ринку. Виконано також формалізацію складових алгоритму моделювання, запропоновано елементи функціонального навантаження суб'єктів моделювання.

Література

1. Самарский А.А. Математическое моделирование: Идеи. Методы. Примеры / А.А. Самарский, А.П. Михайлов – М. : Наука, 1997. – 320 с.
2. Емельянов В.В. Теория и практика эволюционного моделирования / Емельянов В.В., Курейчик В.В., Курейчик В.М. – М. : Физматлит, 2003. – 432 с.
3. Снитюк В.Є. Еволюційні технології прийняття рішень в умовах невизначеності : дис. … доктора техн. наук : 05.13.06. / Снитюк В.Є. – Київ, 2009. – 305 с.
4. Bedau M.A. Artificial Life: organization, adaptation and complexity from the bottom up / M.A. Bedau // Trends in cognitive science. – 2003. – Vol. 7, № 11. – P. 505-512.
5. Langton C.G. Self-reproduction in cellular automata / C.G. Langton // Physica D: Nonlinear Phenomena. – 1984. – Vol. 10, № 1-2. – P. 135-144.
6. Gardner M. The fantastic combinations of John Conway's new solitaire game "life" / M. Gardner // Scientific American. – Vol. 223 (October 1970). – P. 120-123.

7. Yaeger L. Computational genetics, physiology, metabolism, neural systems, learning, vision, and behavior or Polyworld / Yaeger L. – Addison-Wesley, 1994. – P. 263-298.
8. Ackley D. Interactions between learning and evolution / D. Ackley, Littman M. // Artificial Life II. Reading. – MA : Addison-Wesley, 1992. – P. 487-509.
9. Бурцев М.С. Нейросетевая модель эволюционного возникновения целенаправленного адаптивного поведения / М.С. Бурцев, Р.В. Гусарев, В.Г. Редько // «Нейроинформатика-2001», часть 1. – М. : МИФИ. – 2001. – С. 153-160.
10. Хоккинс Дж. Об интеллекте / Дж. Хоккинс, С. Блейскли – М. : Вильямс, 2007. – 240 с.
11. Бурцев М.С. Пасквиль на эволюцию / М.С. Бурцев – Пермь : Изд-во ПГТУ, 2007. – С. 129-143.
12. Букатова И.Л. Эвоинформатика: Теория и практика эволюционного моделирования / Букатова И.Л., Михасев Ю.И., Шаров А.М. ; АН СССР, Ин-т радиотехники и электрон. − М. : Наука, 1991. − 205 с.

Б.В. Мыснык

Особенности моделирования процессов функционирования производственных предприятий на основании концепции «искусственной жизни»

В статье рассматривается проблема моделирования процессов функционирования сложных производственных систем. Осуществлено отображение основных элементов концепции «искусственной жизни» на процессы жизненного цикла промышленных предприятий. Выполнена формализация основных составляющих алгоритма моделирования и определены элементы функциональной нагруженности объектов моделирования.

B.V. Mysnyk

The Peculiarities of Enterprise Functioning Proccess Modelling Based on the “Artificial Life” Conception

In this paper the modelling problem of functioning processes for complex industrial systems is considered. Display of “artificial life” conception basic elements on processes of industrial enterprises life cycle is carried out. Basic components formalisation for modelling algorithm is executed and elements of functionality modelling objects are defined.

Стаття надійшла до редакції 21.06.2010.